



R E S T A U R O

16 2004

Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure
e Laboratori di Restauro di Firenze

**INDAGINI SU SUPERFICI DIPINTE
MEDIANTE IMMAGINI UV
RIFLESSE IN FALSO COLORE**

Alfredo Aldrovandi, Ezio Buzzegoli, Annette Keller, Diane Kunzelman

Nell'ambito della conservazione dei Beni Culturali e in particolare nello studio delle superfici policrome, è noto come le acquisizioni multispettrali e le loro elaborazioni nelle lunghezze d'onda del visibile e delle bande attigue, IR ed UV, diano luogo ad una varietà di tecniche non invasive definite in genere col termine di *Spettroscopia d'Immagine* (IS, Image Spectroscopy), il cui fine è quello di diversificare, localizzare e soprattutto connotare i materiali impiegati. Una delle tecniche più diffuse e di più immediato utilizzo è quella che va sotto il nome di *infrarosso falso colore* che restituisce un'immagine tricromatica utilizzando due componenti del visibile e una del vicino infrarosso. Inizialmente la tecnica di ripresa in IR falso colore prevedeva esclusivamente l'uso di una pellicola, che doveva essere esposta e trattata secondo particolari criteri.¹ Con l'introduzione della tecnica digitale e l'abbandono ormai totale delle tradizionali tecniche fotografiche speciali su pellicola, si è andata diffondendo la tecnica di acquisizione in IR falso colore digitale, che riproduce la stessa formazione dell'immagine su pellicola tramite la ricombinazione RGB delle bande spettrali del vicino IR fino a 900 nm, del rosso e del verde.² Ovviamente questa tecnica d'indagine è ben lungi dall'essere esaustiva riguardo al riconoscimento dei materiali pittorici in genere. Anzi, l'acquisizione digitale, se effettuata con superficialità, può condurre facilmente ad errate valutazioni per le numerose variabili che vi si vengono ad aggiungere, in particolare la sensibilità dei CCD e lo spettro di assorbimento dei filtri selezionatori, per indicare alcuni dei problemi che per primi si incontrano. La tecnica richiede, infatti, una nuova messa a punto e un'ampia ricognizione delle risposte con campioni standard di riferimento dei materiali

pittorici. In considerazione di quanto sopra, ritenendo inoltre che in questo tipo di indagini solo la lettura comparata di più metodiche possa sgombrare il campo da errori, è stata considerata la possibilità di inserire i toni di grigio dell'ultravioletto riflesso nella composizione di un'immagine digitale in RGB, per ottenere un'immagine in falso colore UV dalla più immediata lettura.

Come accennato, l'infrarosso falso colore garantisce un'ottima selettività soltanto per il riconoscimento di alcuni pigmenti, mentre per altri le differenze cromatiche non sono immediatamente apprezzabili, poiché spesso le risposte sono influenzate da variabili non codificate da sistema a sistema. Ad esempio, tra i pigmenti blu, l'indaco e il cobalto appaiono praticamente uguali, come pure lo smaltino e l'oltremare naturale. Tra quelli gialli, il giallo di cadmio e il giallo di Napoli sono anch'essi molto simili e poca differenza esiste tra i rossi di cadmio, cinabro e minio.

Anche per queste ragioni è stata iniziata la sperimentazione utilizzando la banda dell'UV riflesso al fine di discriminare ulteriormente quei pigmenti che non sono sufficientemente differenziati dall'IR falso colore.

La tecnica esecutiva

La tecnica consiste nell'acquisizione di un'immagine a colori e di un'altra in UV riflesso della stessa superficie dipinta rispettando lo stesso rapporto dimensionale; successivamente due componenti dell'immagine visibile e quella in UV riflesso vengono rielaborate e ricomposte in una tricromia RGB puramente convenzionale, ma altamente discriminante. Questo implica, per agilità d'esecuzione, che le riprese siano realizzate sequenzialmente

Tavole a colori: vedi pp. 197-199

con gli stessi parametri di inquadratura. Tralasciando la descrizione della tecnica di ripresa nel visibile, vengono di seguito descritti i parametri utilizzati per l'acquisizione dell'UV riflesso, sia mediante pellicola fotografica che tramite fotocamere digitali.

Come sorgente di radiazione ultravioletta è stata impiegata una coppia di lampade di Wood a vapori di mercurio a bassa pressione con uno spettro nell'UV compreso tra 315 nm e 400 nm e con il picco massimo d'emissione a 365 nm. Queste sono state sempre posizionate con un angolo d'irraggiamento di circa 30° rispetto al piano dell'opera al fine di minimizzare l'interferenza della riflessione parassita non percepibile ad occhio nudo.

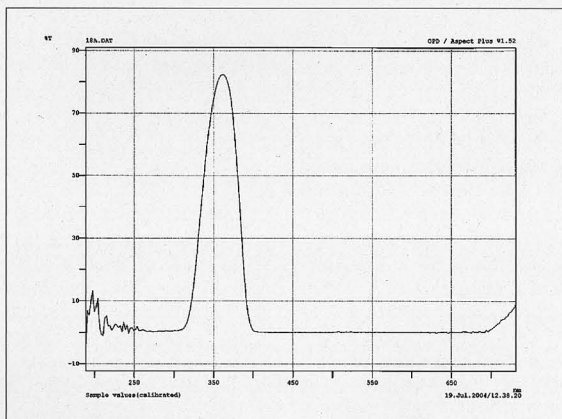
Il controllo dell'incidenza dell'illuminazione ultravioletta è stato condotto mediante una sonda collegata ad un UV-metro.³ Lo strumento è stato utilizzato prevalentemente al fine di valutare l'omogeneità di distribuzione della radiazione UV incidente e non come misura per una eventuale valutazione dell'esposizione.

La sperimentazione è stata condotta ponendo le lampade ad una distanza di circa 1,3 m e misurando una dose di ultravioletto nell'ordine di 20 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Particolare attenzione è stata rivolta al controllo della trasmissione degli obiettivi e dei filtri usati

nella banda di interesse.⁴ Dalle misure effettuate si è notato un notevole assorbimento del vetro a queste lunghezze d'onda, cosa del resto già nota, specialmente in quegli obiettivi che presentano trattamenti antiriflesso e gruppi ottici complessi.

Come elemento sensibile per l'acquisizione dell'immagine in UV riflesso, sono state impiegate sia pellicole fotografiche b/n, delle quali è nota la sensibilità fino a 230 nm, sia fotocamere digitali. Non è stata riscontrata alcuna problematica relativamente alle diverse pellicole fotografiche testate. Nel caso specifico la scelta della pellicola Ilford FP4, con sensibilità ISO 125/22°, ha comunque assicurato un buon risultato in gradazione tonale.⁵ Dato che il piano focale nell'ultravioletto risulta più vicino all'obiettivo del corrispondente visibile, per avere una profondità di campo sufficiente al fine di ottenere una adeguata messa a fuoco, è stato scelto di regola un valore di diaframma 16 o comunque maggiore. L'esposizione richiesta è stata di 20 s nelle condizioni sopradette ed è stata determinata empiricamente impiegando via via tempi progressivamente doppi, controllando che, dopo il trattamento della pellicola, i 5 spectralon⁶ di riferimento appositamente inseriti nell'immagine (con riflettanza nominale nell'UV rispettivamente del 2%, 10%, 50%, 75% e 99%), fossero distinguibili per toni di grigio differenti.



1. Curva di trasmissione del filtro Kodak 18A utilizzato come filtro barriera nell'acquisizione delle immagini in UV riflesso. Il picco massimo di trasmissione coincide con quello di emissione delle lampade di Wood.

Da notare come la trasmissione aumenti dai 650 nm in poi e ciò rende necessario l'accoppiamento di un filtro atermico nel caso di riprese con fotocamere CCD.

Come filtro barriera nell'acquisizione delle immagini in UV riflesso è sempre stato impiegato il Kodak 18A, filtro in vetro di cui si riporta la curva di trasmissione (fig. 1). Nel caso di utilizzo di fotocamere digitali si rende necessario accoppiare a questo anche un filtro atermico per eliminare la componente nel vicino IR emessa dalle lampade di Wood e a cui i sensori CCD sono particolarmente sensibili, a differenza delle ordinarie pellicole fotografiche.

Buoni risultati sono stati ottenuti anche utilizzando fotocamere digitali, con la condizione di poter utilizzare lunghi tempi d'esposizione, in modalità manuale, data la ridotta sensibilità del CCD alla lunghezza d'onda di 365 nm. Un vantaggio nell'uso della fotocamera digitale è risultato essere anche quello di poter lavorare in autofocus con il filtro Kodak 18A posizionato sull'obiettivo. Tuttavia, nella scelta della ripresa, devono essere tenuti presenti i limiti connessi alla risoluzione dell'immagine, fattore invece irrilevante, per esempio, con l'uso di pellicola del formato 120.

Nella successiva elaborazione elettronica, le riprese su pellicola sono state acquisite con uno scanner ad alta risoluzione (3200 dpi - 6x6 cm) per garantire una lettura di alta qualità trasferendo i toni di grigio in un'immagine con una dinamica a 8 bit (256 livelli).

Prima della ricomposizione, le immagini della componente visibile e dell'UV riflesso con le stesse dimensioni, sono state calibrate mediante gli spectralon al fine di ottenere i corrispondenti valori RGB. Questi riferimenti, infatti, garantiscono la formazione di un'immagine digitale normalizzata e riproducibile, anche se ottenuta con strumenti e materiali diversi, condizione fondamentale per una lettura e interpretazione dei risultati.

La tabella indica i valori attribuiti.

Valutazione delle componenti RGB

Spectralon utilizzati (5)	Valori assegnati (0-255)
2%	42
10%	95
50%	182
75%	223
99%	249

Per quanto riguarda le possibilità di combinazione fra le tre componenti RGB dell'immagine visibile e quella dell'UV riflesso al fine di ottenere l'immagine in falsi colori, le possibili combinazioni che si ottengono sono 18. Infatti, tenendo conto che ogni immagine deve sempre contenere la componente dell'UV riflesso, come elemento non discriminabile ad occhio, si ottengono le seguenti possibilità dove la prima combinazione è quella che in assoluto si è rivelata migliore per la caratterizzazione dei materiali indagati (grafico 1).

Volendo fare un riferimento a quanto già eseguito nel caso dell'infrarosso falso colore, in questo caso la differenza della combinazione RGB per realizzare l'UV falso colore, risiede unicamente nel fatto che lo spostamento dei canali avviene in direzione opposta. Nelle tabelle sono schematizzate le combinazioni utilizzate nelle due tecniche.

<i>IR falso colore</i>	<i>Restituzione utilizzata</i>
Componente verde	B - blu
Componente rossa	G - verde
IR	R - rosso

<i>UV falso colore</i>	<i>Restituzione proposta</i>
UV riflesso	B - blu
Componente blu	G - verde
Componente verde	R - rosso

<i>Bande disponibili</i>	<i>Possibili combinazioni tricromatiche</i>																	
UV	B	B	B	B	B	B	G	G	G	G	G	G	R	R	R	R	R	R
B	G	R	G	R			B	R	B	R			B	G	B	G		
G	R	G			G	R	R	B			B	R	G	B			B	G
R			R	G	R	G			R	B	R	B			G	B	G	B

Grafico 1.

Come già detto, la ricerca è stata indirizzata particolarmente alla caratterizzazione di quei pigmenti non efficacemente risolti dal falso colore infrarosso. I risultati più significativi sono stati individuati in quei pigmenti, come per esempio i bianchi, che si differenziano particolarmente per la loro diversa riflettanza nell'UV. A titolo di esempio sono riportati in figura 2 i loro valori di riflettanza.

Per le altre classi di colore le differenze più evidenti sono state riscontrate tra i seguenti pigmenti:

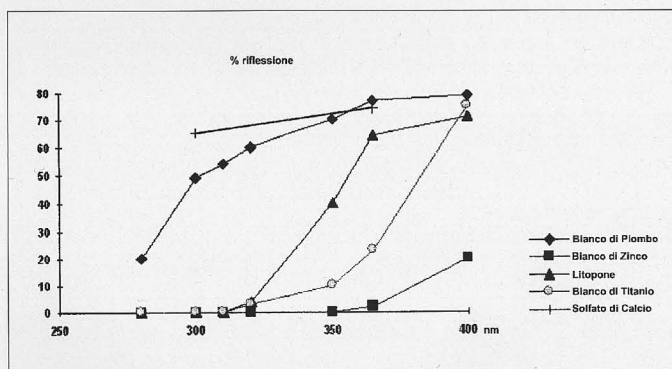
<i>Pigmenti verdi</i>	<i>Pigmenti gialli</i>	<i>Pigmenti rossi</i>
Verde cobalto chiaro	Giallo di Napoli	Rosso di cadmio
Ossido di cromo	Litargiro	Cinabro
Verde smeraldo	Giallo di cadmio	

Al fine di verificare l'efficacia del metodo in presenza di vernici protettive, la sperimentazione è stata rivolta a dipinti antichi e moderni ed anche a manufatti che per loro natura tecnica ne sono sprovvisti, nella fattispecie una pittura ad affresco e un dipinto a tempera su carta. Si è quindi potuto constatare che nel caso della calibrazione dell'UV riflesso la presenza di vernice non costituisce interferenza nella lettura delle stesure pittoriche e viene evidenziata da sfumature diverse, a seconda dello spessore, con toni di blu più o meno intensi. Questa possibilità, che costituisce una caratteristica peculiare dell'indagine, trova utile applicazione

di controllo nella fase di pulitura permettendo di visualizzare la presenza o meno di vernici sulle aree ancora da pulire o già pulite.

La fase applicativa del metodo è iniziata con la verifica delle letture su tavolette di riferimento, preparate con pigmenti di natura chimica certa, già usate nei test per IR falso colore ed altre indagini. I risultati potranno essere assai meglio apprezzati nell'immagine relativa allegata, nella quale si può osservare come l'interesse precipuo di questa nuova metodica stia nella complementarità con l'IR falso colore (tavv. I-II).

Come primo esempio di lettura applicata, per i riconoscimento dei pigmenti, è stato scelto il dipinto *Mercato* di Elisabeth Chaplin della Galleria d'arte moderna di Palazzo Pitti, sia per l'assenza di vernice protettiva, sia per le possibilità di verifica dei risultati. Sull'opera infatti, in tempi recenti, erano state eseguite analisi di fluorescenza X, IR falso colore e UV fluorescenza. Come più volte affermato è dall'interpolazione delle diverse metodiche che si possono ottenere risultati attendibili con le indagini non invasive; sono perciò stati messi a confronto l'IR e l'UV in falso colore e la fluorescenza UV. Il risultato più evidente riguarda la presenza di due colori bianchi di diversa natura chimica, ben evidenziati sulla veste della giovane che tiene in mano la bilancia a destra dell'osservatore. L'artista ha usato il bianco di zinco, giallo acceso in UV falso colore per la campitura di fondo,



2. Curve di riflettanza dei principali pigmenti bianchi utilizzati nelle tecniche pittoriche dove risulta evidente la notevole discriminazione di questi tra i 280 nm e i 400 nm (da Stefan Wulfert, *Fachklassen für Konservierung und Restaurierung*, HFG, Bern 1988).

lumeggiando poi i rilievi con bianco contenente bario, più coprente e che resta bianco in UV falso colore, come già emerso dall'indagine in fluorescenza-X eseguita dall'ENEA.⁷ Per una lettura più completa dei risultati relativi al dipinto della Chaplin si rimanda alle immagini che meglio di ogni altro mezzo esemplificano la tecnica proposta (tavv. III-IV-V).

Per quanto riguarda la presenza di vernici, messa in evidenza dall'UV falso colore il confronto delle immagini rappresentate nella tavola VIa, d, dimostra la qualità di lettura ottenibile con questa metodica. La colorazione di un viola intenso, dell'immagine a sinistra, osservabile prevalentemente nella parte centrale in basso dove sussistono tutti gli strati delle varie vernici, sfuma in tonalità via via più trasparenti nelle zone ove la pulitura in corso le ha già parzialmente rimosse. L'immagine a destra consente una utile lettura dei pigmenti usati: l'opera in oggetto, tuttavia, già abbondantemente indagata con metodiche di più alto livello, sarà oggetto di ulteriori approfondimenti.

In questo contributo è stato dato conto solo dei primi risultati scaturiti da questa ricerca; tanti e altri aspetti sono già stati individuati e solo dopo verifiche e valutazioni, sia teoriche che pratiche, saranno oggetto di un futuro intervento. Nel ricercare una tecnica complementare all'IR falso colore, è stata volutamente fatta la scelta di un orientamento verso metodiche a basso costo, accessibili cioè a un moderno laboratorio di restauro, sia per il relativo impegno economico, che per la facilità di esecuzione che non richiede professionalità specifiche. Resta comunque l'indicazione di cautela con la quale si dovranno leggere e interpretare i risultati ottenuti, da valutarsi di volta in volta e soprattutto da confrontarsi con altre tecniche d'indagine non invasiva.

Inoltre, per il momento non sono stati riferiti, per motivi contingenti, i dati relativi a tutte le altre tipologie indagate, in particolare la pittura ad affresco e la pittura a tempera su carta, che avrebbero richiesto, per lo studio e l'analisi dei risultati, un capitolo a parte.

1) La metodica è pubblicata su: 'Le Scienze', n. 142, 1980, pp. 40-49: M. Matteini, A. Moles, P. Tiano, *L'infrarosso colore nell'analisi dei dipinti*.

2) Per la descrizione della tecnica con mezzo digitale, evoluzione del sistema con pellicola, si veda in 'OPD Restauro', n. 5, 1993, pp. 94-98: A. Aldrovandi, R. Bellucci, D. Bertani, E. Buzzegoli, M. Cetica, D. Kunzelman, *La ripresa in infrarosso falso colore: Nuove tecniche di utilizzo*.

3) Lo strumento impiegato è distribuito dalla CGM di Opera (MI) e denominato "Spectroline radiometer"; è munito di due sonde, una per l'UV (di tipo A) e una per il visibile.

4) Le misure di trasmissione in UV sono state condotte presso il Laboratorio di Metrologia Ottica dell'Istituto Nazionale di Ottica Applicata.

5) La pellicola è stata trattata con Agfa Rodinal 1:50 per un tempo di 7 minuti con una temperatura di 22°C al fine di ottenere un contrasto di 0,55.

6) Lo Spectralon™ è un materiale sintetico, disponibile sia in dischetti del diametro di un pollice che in altri formati, con una riflettanza calibrata e certificata per valori compresi tra 250 nm e 2500 nm.

7) Rapporto tecnico dell'ENEA- QUAL-RT-04 Destinazione programmatica: P472 del Dicembre 2002.